Rebliment holocènic a la vall incisa del barranc d'Algendar (Cala Galdana, sud de Menorca, Mediterrània Occidental)[1]

Joan J. FORNÓS, Maria P. FUMANAL, Guillem X. PONS, Alfredo BARÓN, Antònia FORNÉS, Josep E. PARDO, Antonio RODRÍGUEZ-PEREA, Vicenç M. ROSSELLÓ, Francesca SEGURA i Jaume SERVERA

SHNB

SOCIETAT D'HISTÒRIA NATURAL DE LES BALEARS

Fornós, J.J., Fumanal, M.P., Pons, G.X., Barón, A., Fornés, A., Pardo, J.E., Rodríguez-Perea, A., Rosselló, V.M., Segura, F. i Servera, J. 1998. Rebliment holocènic a la vall incisa del barranc d'Algendar (Cala Galdana, sud de Menorca, Mediterrània Occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 41: 173-189. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

La zona del Migjorn de Menorca correspon a una plataforma aixecada, formada per dipòsits carbonatats del Miocè superior. Aquesta plataforma està solcada de tota una sèrie de torrents (barrancs), que en la seva part més baixa presenten un fons pla típic de rebliment. Aquest rebliment correspon al darrer episodi transgressiu del Pleistocè superior-Holocè. El rebliment, al qual hi és representat l'Holocè, està format per una alternança de dipòsits lutítics foscos rics en matèria orgànica, arenes bioclàstiques i llims i argiles vermelles amb còdols, que caracteritzen l'evolució d'ambients litorals, des de marí restringit, sistema platja–duna, sistema d'albufera fins a aportacions de tipus continental. Aquests dipòsits presenten una complexa estratigrafia que és el resultat de la pròpia evolució dels ambients litorals juntament amb l'oscil·lació del nivell de la mar durant el Pleistocè final i l'Holocè.

***Paraules clau**: Holocè, vall incisa, barranc, Miocè superior, Menorca.*

HOLOCENE INFILLING IN THE INCISED VALLEY OF THE ALGENDAR GULLY (CALA GALDANA, SOUTHERN MENORCA, WESTERN MEDITERRANEAN). The Migjorn area in the upraised Southern Menorca is a platform composed of upper Miocene limestones. In their downstream portion streams show deep incisions. The bottoms of the gully creeks that cross this platform are flat, which indicates filling. This infilling took place during the latest transgressive episode of the upper Pleistocene-Holocene. The filling, mostly Holocene in age, is composed of lutites rich in organic matter, bioclastic sandstones, and red silts and clays with pebbles. These characterize the evolution to littoral, restricted marine environments, beach-dune systems, lagoons

---

[1] Aquest treball correspon a la darrera col·laboració amb el Departament de Ciències de la Terra de la Universitat de les Illes Balears que va fer la Dra. Maria Pilar Fumanal, que ens va deixar el mes de juny de 1998.

("albufera") to eventual continental inputs. The deposits show a complex stratigraphy linked to the evolution of the littoral environments and to the oscillation of the sea-level during the end of the Pleistocene and the Holocene.
Keywords: *Holocene, incised valley, gulley creek, Upper Miocene, Menorca.*

J.J. FORNÓS, G.X. PONS, A. RODRÍGUEZ-PEREA, A. FORNÉS i J. SERVERA, Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. dctjfa0@ps.uib.es. M.P. FUMANAL, V.M. ROSSELLÓ i F. SEGURA, Departament de Geografia. Universitat de València. A. BARÓN, Junta d'Aigües. Direcció General de Règim Hidràulic. Govern Balear. J.E. PARDO, Departament d'Enginyeria cartogràfica, Geodèsia i Fotogrametria. Universitat Politècnica de València.

Recepció del manuscrit: 10-nov-98; revisió acceptada: 14-des-98.

Introducció

En el darrer temps, l'estudi de l'evolució del nivell de la mar ha adquirit una gran importància fent-se present com a principal objectiu en la major part de publicacions de tipus estratigràfic. Fruit d'aquest interès s'ha produït, juntament amb el desenvolupament de noves tècniques d'enregistrament i d'anàlisi electrosísmica, un gran desenvolupament d'una eina o disciplina relativament nova, l'estratigrafia seqüencial, la qual ha esdevingut bàsica per analitzar la relació entre l'oscil·lació del nivell de la mar i les geometries i fàcies dels dipòsits resultants (Emery i Myers, 1996). Un dels principals punts d'interès actual on són reflectits tots aquests processos i per tant els seus resultats, és la zona litoral, i dins d'ella són especialment importants els rebliments dipositats en les depressions entallades, durant el darrer episodi glacial (*incised valleys*), on tots aquests processos hi són magnificats (Dalrymple *et al.*, 1994).

L'estudi dels aspectes hidrològics de la zona del Migjorn de Menorca, i la realització de tota una sèrie de sondatges per a estudiar la geologia local per part del Servei Geològic d'Obres Públiques i de la Junta d'Aigües del Govern Balear, va permetre observar per primera vegada la magnitud i les característiques dels dipòsits holocènics que omplen els cursos finals dels barrancs que drenen les aigües del Migjorn menorquí. L'estudi que avui presentem correspon a la descripció i anàlisi d'un d'aquests sondatges, concretament l'S.21 Algendar, realitzat a 1 km de la desembocadura del barranc d'Algendar a Cala Galdana al S de Menorca (Fig. 1). La boca del sondatge està situada a la cota +1,75 m i les seves coordenades cartogràfiques són: 39°56'26''N-3°57'31''E.

Situació geogràfica

La zona que ha estat objecte d'estudi es troba situada a la part sud-est de l'illa de Menorca (Migjorn) vora la desembocadura del Barranc d'Algendar a Cala Galdana (Fig. 1). Menorca des del punt de vista geològic presenta dues grans àrees (Fig. 1): Tramuntana i Migjorn amb característiques litològiques i estructurals que li confereixen uns aspectes geomorfològics totalment diferenciats (Obrador, 1998). La zona de Tramuntana es caracteritza per un paisatge heterogeni format per elevacions de poca importància (la màxima altitud de l'illa és el Toro, 358 m) amb una xarxa de drenatge poc marcada on

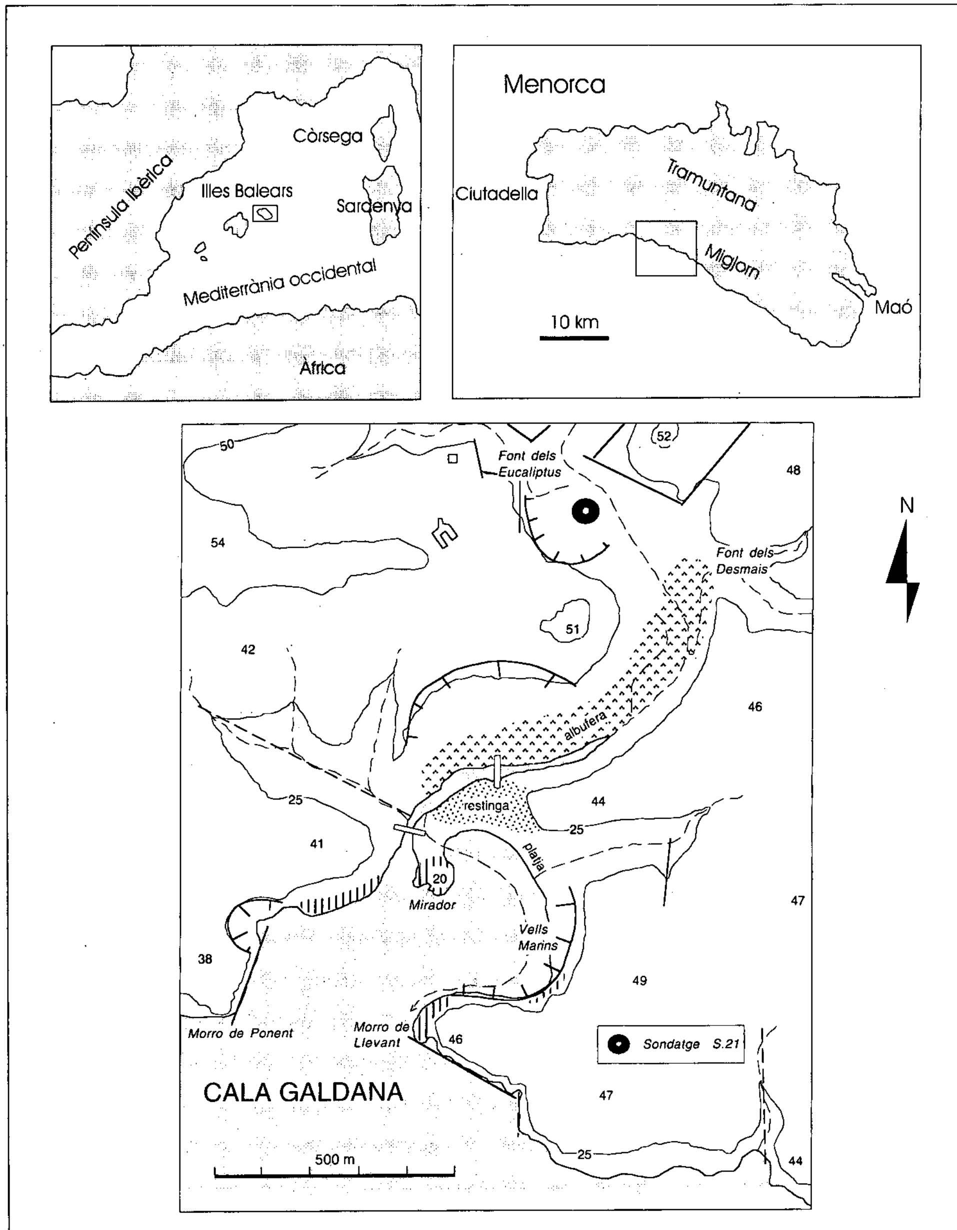


Fig. 1. Situació de cala Galdana a la zona del Migjorn de Menorca amb la localització del sondatge estudiat.

Fig. 1. Location of the core studied at cala Galdana in the Migjorn area (Southern Menorca).

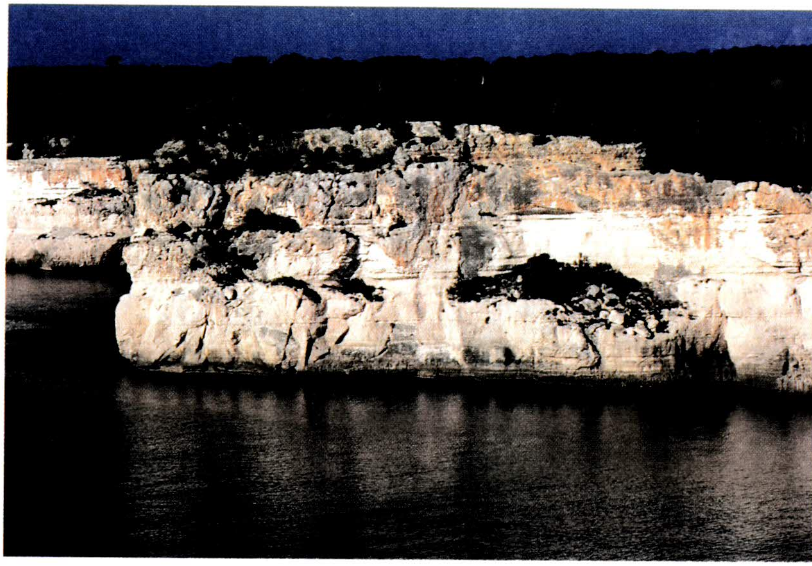
litològicament hi predominen els materials calcaris del Juràssic, els gresos vermells i conglomerats del Triàsic i les pissarres, gresos grisos i en general foscos del Paleozoic. Aquests materials estan afectats per les orogènies herciniana, els paleozoics, i alpina, tots ells; aquesta dualitat els hi confereix una complexa estructuració que, a través del escàs relleu, es manifesta en una disposició en forma de blocs similar a un trencaclosques. La zona del Migjorn, per contra, es una àrea, a grans trets, planera, amb una lleugera inclinació vers el sud, on la característica principal del paisatge són els impressionants barrancs que la solquen, orientats en la seva major part en direcció quasi N-S. Els materials que conformen aquesta zona corresponen a les calcàries i calcarenites blanques pertanyents en la seva major part al Miocè superior, la qual cosa fa que siguin post-orogènics, i que la seva disposició i estructura sigui la deposicional amb alguns basculaments provocats per la tectònica distensiva.

A la zona de Cala Galdana (Fig. 2) on desemboca el torrent d'Algendar, els materials que afloren corresponen al Miocè superior (Fornós, 1987). Tant en els penya-segats del torrent com a les parets que envolten l'impressionant paisatge de la cala s'hi poden diferenciar dues unitats molt marcades en el paisatge. La inferior (la Unitat Inferior de Barres de Obrador *et al.*, 1983) està formada per una alternança de calcarenites i calcisiltites que donen una marcada estratificació quasi horitzontal (Fig. 2a) amb un lleuger basculament vers la mar (S). Aquests nivells carbonatats es caracteritzen pel seu color groc i pels seus components bioclàstics que són com a macrofauna més visible, mol·luscs (principalment bivalves) i grans equinoderms. Sobre aquests nivells i clarament en discordança angular (Fig. 2a) s'hi disposen nivells calcaris massius amb una estratificació més grollera i amb una inclinació més marcada en direcció a la mar (la Unitat Escullosa de Obrador *et al.*, 1983). En aquesta unitat, que mostra en el paisatge unes tonalitats rogenques, hi predominen com a components bioclàstics principals i característics les algues vermelles amb la presència clarament visible de molta macrofauna. Localment s'hi troben alguns coralls. Adossats als penya-segats a vorera de la mar, també s'hi poden observar dipòsits calcarenítics corresponents a eolianites del Pleistocè (Fig. 2b) (Mercadal *et al.*, 1970).

Dins dels materials miocens on s'encaixa el torrent, en l'actualitat s'hi pot veure el fons pla, senyal del rebliment del fons del barranc que avui en dia se caracteritza per la presència d'una restinga amb sistema platjaduna força desenvolupat i una zona d'aiguamolls.

Metodologia

A la zona on es pressuposava un rebliment holocènic més important (al punt indicat anteriorment) es va realitzar un sondatge de percussió amb extracció de testimoni continu fins als 35 m de profunditat a tocar el basament miocènic. De forma regular, però condicionada per les variacions litològiques, s'hi van recollir un total de 27 mostres. En els testimonis mostrejats s'hi van diferenciar clarament dos trams, les mostres dels quals van seguir processos de tractament diferenciats. En les mostres del primer tram, format bàsicament per material lutític-arenós no consolidat, es va procedir a l'anàlisi textural mitjançant garbellat i tub de sedimentació tradicional, per tal d'extreure les corbes granulomètriques i els paràmetres texturals, entre el que s'hi inclou el percentatge d'argiles, llims i arenes, i els paràmetres texturals estadístics elementals. Per calcinació es va obtenir el percentatge de matèria orgànica i per deduir el contingut en carbonats es va utilitzar la tècnica de gasometria (calcímetre de Bernard). La fracció arena de les mostres va ser observada a la lupa binocular per tal d'analitzar-ne la composició i fer l'anàlisi taxonòmica de les espècies de mol·luscs presents. Per a les mostres del segon tram, calcàries i calcarenites cimentades, es van realitzar seccions primes per al seu estudi al microscopi petrogràfic.



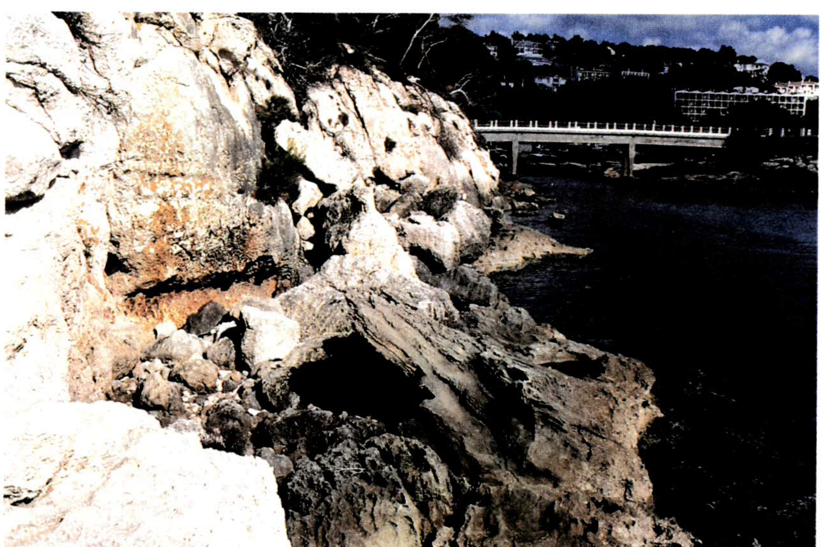


Fig. 2. a) Secció dels dipòsits corresponents al Miocè superior a la zona del Morro de Ponent a l'oest de Cala Galdana. Observi's la discordança entre la Unitat Inferior de Barres a la base i la Unitat Escullosa a sostre. b) Eolianites pleistoceniques adossades al penya-segat format per materials del Miocè superior a l'oest de cala Galdana.

Fig. 2. a) Upper Miocene outcrops in a cross-section located in the Morro de Llevant area, western part of cala Galdana. It can be observed the discordance between the Unitat Inferior de Barres *and the* Unitat Escullosa *at the top. b) Pleistocene eolianites attached to the sea-cliff formed by upper Miocene deposits in the western part of cala Galdana.*

Resultats

Descripció del sondatge

El sondatge estudiat té 35 m de profunditat i s'hi diferencien clarament dos trams o seqüències: el primer amb una potència de 32 m està format per una alternança de llims i argiles amb restes carbonoses, arenes bioclàstiques i llims i argiles vermelles; el segon (del qual només es disposa de 3 m de testimoni) està format per calcàries i calcarenites bioclàstiques. La seqüència representada a la Fig. 3 presenta els següents nivells des del sostre fins a la base:

De 0 a –1,5 m. Argiles marronoses amb arrels i restes vegetals. Aquest nivell correspon al sòl edàfic actual.

1,5- 2 m. Argiles vermelles. Mudstone (mostra 1).

2-3 m. Llims negres amb fauna de mol·luscs trencada, hi predominen hidròbids amb restes de *Cerastoderma glaucum*. Textura Floatstone-wackestone. Albufera. (mostra 2). Fig. 4a.

3-3,4 m. Torba. Albufera. (mostra 3).

3,4-4,5 m. Llims marrons-negres, amb restes de *Cerastoderma glaucum*. Textura mudstone-Floatstone. Albufera. (mostra 4).

4,5-4,7 m. Torba.

4,7-5 m. Llims marrons i negres. Textura floatstone. Restes de fauna i turba. Albufera. (mostra 5).

5-6,5 m. Fangs negres amb restes de mol·luscs (hidròbids i *Cerastoderma glaucum*). Textura wackestone. Restes vegetals i carbonosos. Albufera. (mostra 6).

6,5-7 m. Igual, però amb fauna marina amb els bivalves: *Acanthocardia tuberculata* i *Loripes lacteus* i els gastròpodes: *Retusa truncatula*, *Bittium latreilli* i *Rissoa* sp. (mostra 7).

7-9,3 m. Lutites grises que cap a la base passen a marrons. Textura floatstone localment rudstone amb restes vegetals i *Phragmites* sp. A sostre hi ha un framestone de tubs de cucs amb aparença molt similar a *Ficopomatus* (mostra 8) i amb grans mol·luscs bivalves. Cap a la base es fan més freqüents bivalves de mida gran, amb moltes restes vegetals i llims. Albufera, però possiblement amb influència marina. (mostres 9a i 9b).

9-10 m. La mateixa fauna anterior, però més argilós i color vermellós. Textura floatstone. La fauna denota una major influència marina amb abundants restes de bivalves i gastròpodes (*Retusa truncatula*, *Rissoa dolium* i *Rissoa* sp.). (mostra 10).

10-12 m. Arenes molt fines llimoses grises. Textura wackestone. Influència marina amb restes de bivalves i gastròpodes (*Bittium latreilli* i *Rissoa* sp.). Finament laminades a sostre (mostra 11a) i amb restes carbonosos a la base (mostra 11b).

12-15 m. Argiles i llims vermells a sostre parcialment barrejats amb els anteriors. Amb alguna resta de bivalve. Albufera. Textura mudstone. (mostres 12, 12b, 12c). (Fig. 4b)

15-18 m. Argiles vermelles-marronoses, amb més matèria orgànica i amb restes de mol·luscs bivalves i gastròpodes: *Retusa truncatula* i *Rissoa* sp. que li donen una textura floatstone. (mostres 13 a, 13 b). (Fig. 4c).

18-18,8 m. Llims arenosos marrons amb textura wackestone. Amb algunes restes de bivalves senceres surant amb textura floatstone. (mostra 14).

18,8-19,8 m. Arenes llimoses grises amb fines laminacions a sostre amb intercal·lació de textures mudstone-grainstone. Abundants restes de bivalves. (mostra 15).

19,8-21 m. Arenes ocres amb textura graisntone. A sostre rudstone de material de mol·luscs fragmentats (bivalves i *Rissoa* sp.). (mostra 16).

21-21,5 m. Llims arenosos marrons amb abundant restes de bivalves. Fina laminació. Textura floatstone. (mostra 17).

21,5-23,6 m. Arenes grises llimoses amb fauna de bivalves i gastròpodes. Amb restes carbonoses. Textura wackestone. (mostra 18). (Fig. 4 d).

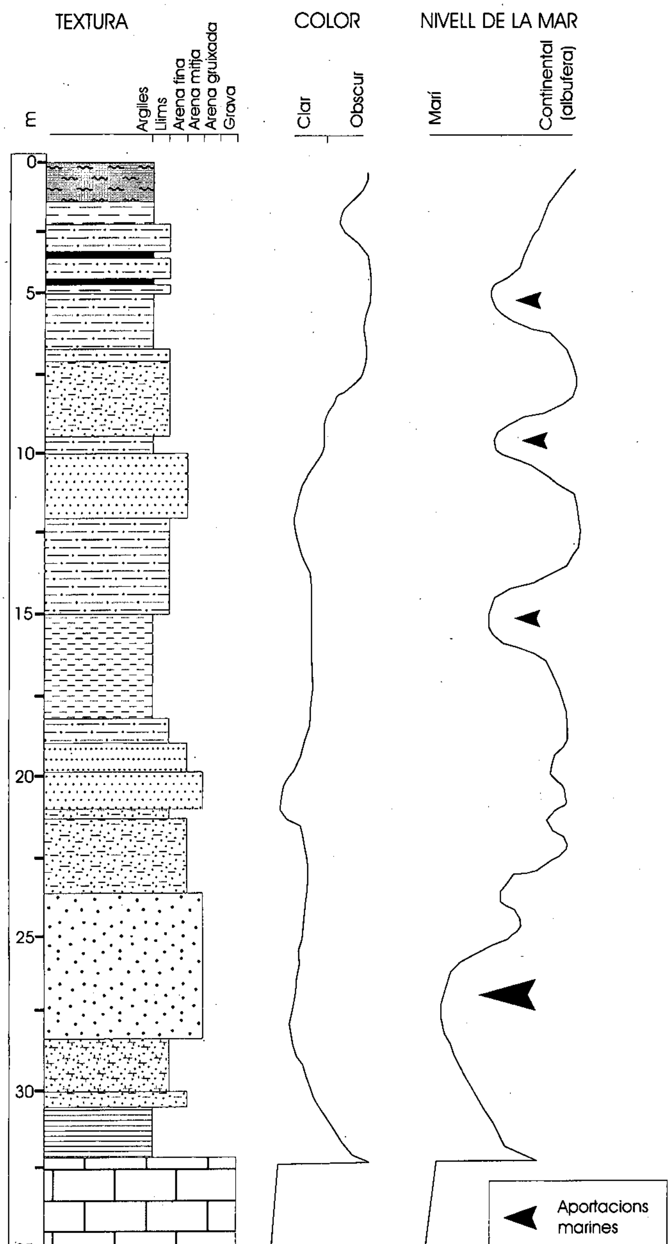


Fig. 3. Columna estratigràfica sintètica del sondatge S.21 Algendar, on s'han representat els punts de màxima influència marina.

Fig. 3. Stratigraphic log sketch of the core S.21 Algendar. Both the colour variation and the marine influences are represented.

23,6-28,5 m. Arenes fines-mitjanes grises. Textura grainstone. Platja. (mostres 19a, 19b). (Fig. 4e).

28,5-30 m. Fang amb nòduls de carbonatats?? amb increment de la fracció arena cap a la base. (mostra 20).

30-30,4 m. Arenes fines amb matèria orgànica composta per restes de bivalves i presència de *Chara* sp. Textura grainstone. (mostra 21). (Fig. 4f).

30,4-32 m. Fangs vermells barrejats amb litoclasts i fang carbonatat. Testimoni parcialment perdut. Potser conglomeràtic. Superfície de contacte amb el basament miocè (Pliocè ?).

32-35 m. Calcarenites ocres ben cimentades. Textura grainstone. Plataforma marina carbonatada soma.

Anàlisi textural

El sediment és de forma predominant argilós–llimós amb presència abundant de la fracció arena que esdevé especialment important a la base de la seqüència superior d'una forma gradual. La fracció més grollera, les graves, hi són absents excepte quan les partícules bioclàstiques estan senceres, principalment bivalves i gastròpodes. La fracció arena presenta una mitjana de 28,8% amb uns rangs d'oscil·lació que van des del mínim que és 0% a diverses mostres fins a un màxim de 91,2% a la mostra 19a. La fracció llim presenta un valor mitjà de 35,4% amb un valor mínim de 3,2% a la mostra 19b i un valor màxim de 59,2% a la mostra 12a. La fracció argila és la majoritària amb una mitjana de 36,5% amb uns valors que oscil·len entre el 5,4% a la mostra 19a i el 73,9% a la mostra 1.

Les dades texturals i els paràmetres estadístics elementals elaborats a partir de les mostres estudiades es poden trobar a la taula 1.

Contingut en matèria orgànica

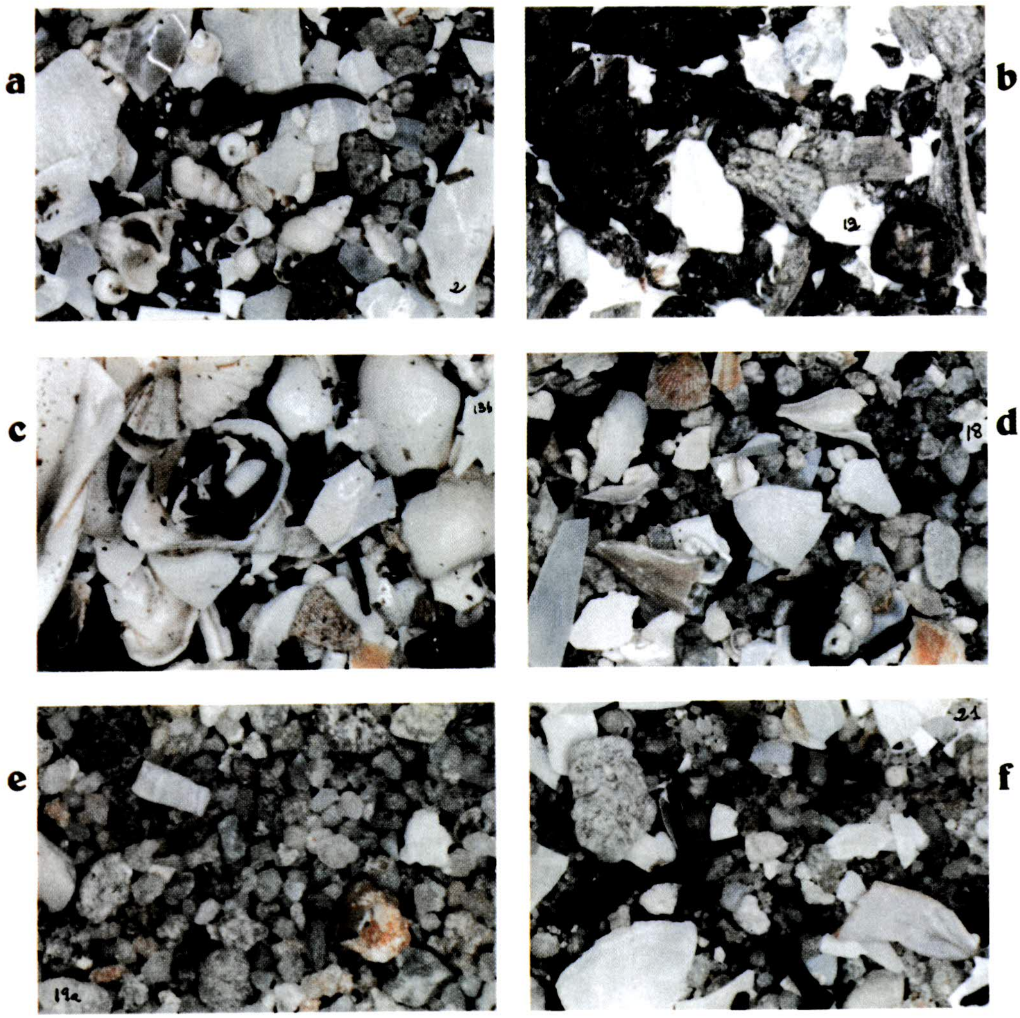
Les dades de matèria orgànica es poden veure a la taula 2. En el conjunt de les mostres estudiades la mitjana del contingut en matèria orgànica és de 3,04% amb una desviació típica de 1,92, observant-se un valor màxim de 8,6% (la mostra 5 que no ha estat analitzada correspon a torba) i un mínim de 0,2%. La distribució de la matèria orgànica al llarg del sondatge és molt variable, encara que en general n'hi ha una clara disminució amb la profunditat, els valors més elevats es troben a la part superior del sondeig (Fig. 5).

Contingut en carbonats

Les dades de contingut en carbonats es poden observar a la taula 2. En el conjunt de les mostres estudiades la mitjana del contingut de carbonats és de 19,3% amb una desviació

Fig. 4. Aspecte de la fracció arena dels dipòsits mostrats pel sondatge de cala Galdana. a) Mostra 2, sediments de llacuna d'albufera amb fauna pròpia salabrosa i predominància d'hidròbids; b) mostra 12, sediments d'albufera i abundants restes vegetals; c) mostra 13 b, sediments lacustres amb forta influència marina amb abundants restes de bivalves i gastròpodes (*Retusa truncatula* al centre); d) mostra 18, fàcies mixtes albufera-marina amb restes de bivalves fragmentats; e) mostra 19 a, arenes subarrodonides i ben seleccionades pertanyents al sistema platja-duna; f) mostra 21, sediments lagunars amb aigües dolces; observi's un oogoni de *Chara*. ➔

Fig. 4. Sand fraction photographs of the sediments present at cala Galdana core. a) Sample 2, lagoonal sediments with brackish water fauna, predominantly Hydrobia*; b) sample 12, lagoon sediments with abundant vegetal remains; c) sample 13 b, lacustrian sediments highly influenced by the sea with abundant bivalve and gastropod remains (*Retusa truncatula *in the center part); d) sample 18, mixed facies marine-lagoon with fragmented remains of bivalves; e) sample 19 a, subrounded and well sorted sands corresponding to the dune/beach system; f) sample 21, fresh water lagoon sediments. Notice the* Chara *oogonie.*


a
b
c
d
e
f

típica de 20,1, observant-se un valor màxim de 87,5% i un mínim de 0,5%. La distribució dels carbonats al llarg del sondatge és molt variable, encara que en general, i a la inversa del que passa amb la matèria orgànica, hi ha un clar increment amb la profunditat (Fig. 5).

Estudi de la macrofauna

Els éssers vius (algues, plantes superiors, foraminífers, mol·luscs, etc.) sovint han estat utilitzats per a la reconstrucció de les condicions ecològiques d'una determinada localitat gràcies a la realització de diferents sondeigs. *Cerastoderma glaucum* és una espècie filtradora que apareix de forma abundant amb rangs de salinitat variable i amb una temperatura de l'aigua també variable. Viu a aigües salabroses, enterrada entre arenes o llims a poca profunditat. És molt abundant en les mostres que van dels 2 fins a 6,5 m junt amb *Hydrobia* sp.

Acanthocardia tuberculata, Loripes lacteus, Retusa truncatula, Bittium latreilli i *Rissoa* sp. són espècies presents a les mostres que indiquen, en certa manera una predominància de fàcies marines o fàcies corresponents a ambients més litorals que terrígens. La majoria dels gastròpodes són de mida petita o molt petita que viuen normalment enterrats entre el sediment. Poden habitar des de la línia de costa fins a profunditats de fins als 200 m.

Les restes vegetals com *Phragmites* sp. o *Chara* sp. també ajuden a reconstruir paleoambient. La primera és típica d'ambients d'albufera. En canvi *Chara* sp. és més selectiva i només s'instal·la a zones amb una salinitat baixa, amb aigüa dolça.

Datacions

Aquest mateix sondatge va ésser mostrejat per a l'anàlisi pol·línica (Yll *et al.*, 1997). Aquests autors dataren les mostres mitjançant tècniques de C^{14}, donant els següents valors: a 6,7 m de profunditat, 409060 anys AP; a 9,35 m, 4940±50; a 15,6 m, 6170±70; i a 23,45 m, 8550±50 anys AP (Fig. 5). Això implica que dins el rebliment hi és representat tot l'Holocè, i la part superior del Pleistocè superior, probablement a partir del *Younger Dryas event.*

Per similitud amb les fàcies envoltants, el basament calcarenític (Obrador *et al.*, 1983) s'ha atribuït al Miocè superior.

Discussió

L'estudi de la textura, composió química i el contingut faunístic del sondatge efectuat a la zona del barranc d'Algendar prop de cala Galdana, permet conèixer l'evolució de l'àrea i la interrelació entre els diferents processos marins i continentals que corresponen als ambients litorals característics d'aquestes zones de transició.

Els sondeigs poden ajudar a donar una visió tridimensional de les condicions ecològiques de la zona. Des de la situació actual amb un sòl edàfic actual, amb arrels i restes vegetals (de 0 a 1,5 m), fins al basament Miocè (35 m), hom pot identificar les distintes seqüències transgressives i regressives de la mar amb el seu component faunístic fòssil característic.

Fàcies sedimentàries

Les fàcies sedimentàries que formen el rebliment es poden agrupar bàsicament en dos grans grups: lutites i llims arenosos foscos i, arenes ben classificades.

La primera fàcies, lutites i llims arenosos foscs, correspon a dipòsits amb una composició predominant dels materials fins amb valors que superen el 80% de composició lutítica, una proporció de carbonats relativament baixa, inferior al 15%, i amb una composició orgànica que presenta valors que oscil·len entre el 2,5 i el 5%. En general són mostres amb una mala classificació.

Localment aquestes fàcies presenten intercal·lacions més arenoses (al voltant del 40%) que a la vegada duen associat un descens del contingut en matèria orgànica en uns dos punts i un lleuger increment del con-

Taula 1. Principals dades i paràmetres texturals del sondatge S.21 Algendar de cala Galdana.
Table 1. Main data and textural parameters of S.21 Algendar core at cala Galdana.

mostra	profunditat (m)	mitjana (phi)	a	classificació	a	assimetria	a	aplanament	a	% arena	% llim	% argila
1	-1,5 a -2	6,97	8,44	0,52	1,44	-1,00	-1,12	0,66	2,84	0,00	26,10	73,90
2	-2 a -3	7,24	7,13	2,83	2,57	-0,22	-1,15	0,84	3,63	15,10	38,40	46,50
3	-3 a -3,4	6,12	6,90	1,79	2,61	-1,00	-1,01	1,20	3,26	17,10	36,80	46,00
4	-3,4 a -4,5	6,77	8,35	0,57	1,60	-1,00	-1,09	0,66	2,76	0,00	32,60	67,40
6	-4,7 a -5	6,95	6,82	2,28	2,20	-0,04	-0,80	0,97	3,41	13,20	50,00	36,90
7	-5 a -6,5	6,33	8,23	0,35	1,56	-1,00	-0,80	0,55	2,20	0,00	31,80	68,20
8	-6,5 a -7	5,09	5,28	3,00	2,78	0,36	0,14	0,77	1,79	48,20	24,40	27,50
9a	-7 a -9	6,33	6,42	2,81	2,41	-0,03	0,39	0,90	2,04	26,90	35,30	37,90
10	-9 a -10	7,56	7,70	1,58	1,57	-0,07	-0,27	0,59	1,76	0,00	50,00	50,00
11a	-10 a -12	5,37	5,31	2,69	2,52	0,50	0,48	0,74	2,00	47,80	29,50	22,70
11b	-10 a -12	5,25	5,48	3,09	2,59	0,49	0,16	1,06	1,88	47,80	28,40	23,80
12a	-12 a -15	7,06	7,22	1,95	1,85	0,12	-0,03	0,46	1,48	0,00	59,20	40,80
12b	-12 a -15	7,21	6,79	3,02	2,25	0,11	-0,49	0,90	2,32	38,70	43,20	38,70
12c	-12 a -15	7,58	8,11	1,08	1,51	-1,00	-0,58	0,68	1,88	0,00	37,80	62,20
13a	-15 a -18	6,87	6,82	2,35	2,09	0,05	-0,38	0,79	2,48	12,70	50,30	37,00
13b	-15 a -18	6,20	6,61	1,83	2,12	-0,20	-0,22	0,60	2,27	15,80	51,70	32,60
14	-18 a -18,8	6,79	7,00	2,19	2,20	-0,17	-0,56	0,62	2,48	13,40	44,90	41,70
15	-18,8 a 19,8	6,20	6,24	2,60	2,47	-0,19	-0,46	0,82	2,35	23,70	44,50	31,70
16	-19,8 a 21	5,24	5,32	2,47	2,52	0,05	-0,04	0,79	2,29	36,60	42,30	21,10
17	-21 a -21,5	5,99	6,07	2,68	2,53	-0,03	-0,22	0,67	1,95	34,40	37,20	28,40
18	-21,5 a -23,5	4,51	4,78	2,23	2,56	0,40	0,39	0,68	2,13	57,10	27,00	15,90
19a	-23,6 a -28,5	2,11	2,72	1,34	1,79	0,64	2,77	3,46	10,12	91,20	3,40	5,40
19b	-23,6 a -28,5	2,11	2,76	1,39	1,86	0,55	2,67	4,16	9,40	90,70	3,20	6,10
20	-28,5 a -30	5,25	5,45	3,51	3,28	-0,10	-0,30	0,71	1,76	37,80	29,80	32,40
21	-30 a -30,4	4,85	4,92	2,38	2,43	0,48	0,67	0,75	2,20	53,20	28,30	18,50

tingut en carbonats (en uns 10 punts). Aquestes indentacions corresponen a escolaments de forma difusa (ED a la Fig. 5) amb aportacions de tipus continental i remanegament parcial de la restinga arenosa. Les dades texturals i l'observació de la seva representació en la corba granulomètrica marca al llarg de tota la columna moments d'escolament concentrat (EC a la Fig. 5) amb aportacions procedents del flux al·luvial a la part superior de la columna, mentre que a la part inferior corresponen a la creació de deltes d'inundació marina i ventalls de sobreeiximent marí intrallacunar (*washovers*).

La fàcies d'arenes, correspon a arenes de gra mitjà o fi en una proporció superior al 90%, amb un molt bon grau de classificació, que presenten una composició bàsica de grans de quars subarrodonits (Fig. 4e). El contingut en matèria orgànica és molt baix (<0,5%) i el de carbonats està al voltant del 10%, que correspon a la fracció bioclàstica. Tots els seus paràmetres texturals i composicionals són molt uniformes.

Aquesta fàcies correspon a dipòsits acumulats per l'acció eòlica i remanegament litoral marí i que caracteritzen el sistema platja-duna. Aquesta fàcies s'interdigita amb les anteriors seguint el model proposat per Dalrymple *et al.* (1992) en el qual s'observa la gradació de les fàcies marines litorals, platja, duna, lagunar (amb la transició corresponent als ventall marí intralagunar –*washovers*- i deltes d'inundació) i dipòsits al·luvials.

Des del punt de vista de la composició biogènica presenten abundants restes vegetals i animals. A grans trets de 1,5 fins als 6,5 m predomina les fàcies corresponent a aigües somes pròpies d'albufera, amb *Cerastoderma*

Taula 2. Relació del contingut en matèria orgànica i carbonats del sondatge S.21 Algendar de cala Galdana. Datacions segons Yll *et al.* (1997).
Table 2. Contents of organic matter and carbonates of S.21 Algendar core at cala Galdana. Datings from Yll *et al.* (1997).

Mostra	Profunditat (m)	% Mat. Org.	% Carbonats	Edat anys BP.
1	-1,5 a -2	1,0	0,50	
2	-2 a -3	5,4	17,25	
3	-3 a -3,4	5,8	6,45	
4	-3,4 a 4,5	4,5	0,80	
6	-4,7 a -5	8,6	10,00	
7	-5 a -6,5	3,9	2,00	
8	-6,5 a -7	2,4	26,00	-4090±60
9a	-7 a -9	0,2	15,00	
10	-7 a -9	2,8	14,00	-4940±50
11a	-12 a -12	3,8	20,00	
11b	-10 a -12	3,2	24,41	
12a	-12 a -15	1,5	2,69	
12b	-12 a -15	1,8	10,00	
12c	-12 a -15	1,7	5,55	
13a	-15 a -18	3,1	13,63	-6170±70
13b	-15 a -18	3,0	18,51	
14	-18 a -18,8	5,1	15,15	
15	-18,8 a -19,8	3,8	11,60	
16	-19,8 a -21	3,2	24,74	
17	-21 a -21,5	2,1	43,13	
18	-21,5 a -23,5	4,0	19,52	-8550±50
19a	-23,6 a -28,5	0,5	10,00	
19b	-23,6 a -28,5	0,5	87,50	
20	-28,5 a -30	1,4	67,00	
21	-30 a -30,4	2,8	18,00	

glaucum i *Hydrobia* sp. De 6,5 a 7 m es detecta la presència d'un curt període amb fauna marina, de característiques litorals i de poca profunditat (*Acanthocardia tuberculata, Loripes lacteus, Retusa truncatula, Bittium latreilli* i *Rissoa* sp.). De 7 a 9,3 m domina, novament, un ambient d'albufera amb abundant presència de matèria orgànica (*Phragmites* sp. i restes vegetals diverses). De 9 a 12 m correspon a una fàcies marina, iniciant a partir dels 12 m un curt període d'albufera amb predomini de sediment terrigen que evoluciona lentament cap a condicions més salabroses (fins als 21 m). Des dels 21 m el punt del sondeig correspondria a un ambient arenós litoral propi de platja fins als 30 m. L'última fracció amb restes identificades conté *Chara* sp., alga que indica un ambient d'albufera, però d'aigua dolça.

Evolució de l'àrea

La forta regressió soferta a les costes de les Balears, especialment al sur de Menorca, durant el darrer/s estadi/s glacial/s (Cuerda, 1975), lligada a un possible aixecament tectònic, va donar lloc a la incisió del torrents que circulaven per les plataformes carbonatades del Miocè superior a les zones costaneres. Aquest fenomen d'erosió mecànica, afavorit per processos de carstificació, va donar lloc

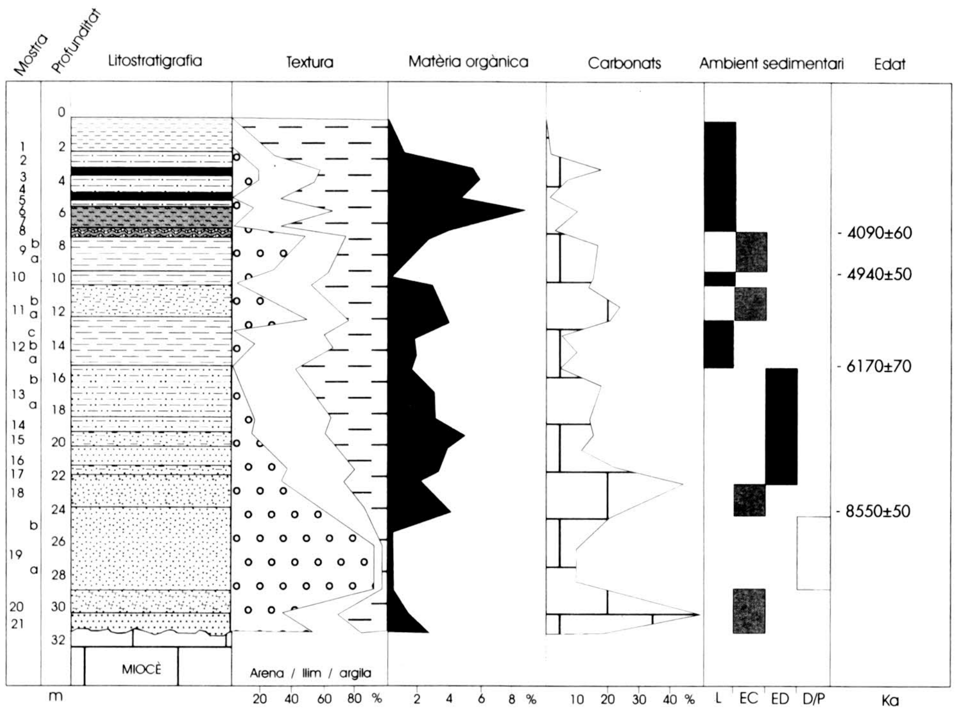


Fig. 5. Quadre resum de les principals característiques sedimentològiques de la columna corresponent al sondatge S.21 Algendar de cala Galdana. Datacions segons Yll *et al.* (1997).
Fig. 5. Representation of the main sedimentological characteristics of the core S.21 Algendar at cala Galdana. Datings from Yll *et al.* (1997).

als forts encaixaments a les valls (*incised valleys*) superiors als 50 m (Pardo *et al.*, 1997). Durant la darrera pujada de la mar en el darrer estadi interglacial (Fig. 6), s'atura el procès erosiu de les parts més baixes dels barrancs i s'en produeix el rebliment, especialment en les zones properes a la actual línia de costa, que avui corresponen a sistemes platja-duna amb albuferes o aiguamolls associats i que a la mateixa línia de costa donen cales. Aquest procès sedimentari, lligat a la morfogènesi càrstica provoca el ràpid tancament dels barrancs per un sistema platja-duna (restinga) que comporta l'aïllament i formació terra endins de una zona d'aiguamoll o albufera. Els materials que componen aquesta sedimentació lacustre presenten les variacions en el grau de salinitat típiques de les aigües que caracteritzen aquests medis, amb les successives variacions de la influència d'aigües marines o dolces, com a conseqüència de les oscil·lacions del nivell de la mar i les climàtiques.

Processos implicats

L'evolució del barranc i el seu reompliment sedimentari planteja diversos problemes com ara el d'explicar la gran acumulació de sediments holocènics. Les dades obtingudes per mitjà dels SEV's (Pardo *et al.*, 1997) semblant avalar el procès morfogenètic de

dissolució càrstica (Fig. 7). Suposant que el barranc d'Algendar és una conseqüència dels processos incissius d'origen fluvial, matisats pels processos de dissolució, cal deduir que el barranc presentava, abans d'omplir-se de sediments, una forma en V més o menys clar i que es formà en un moment d'aigües més baixes (Fig. 6). En aquesta situació el gradient cap a la mar seria més o menys continu, localitzant-se en algun lloc de la plataforma els dipòsits fluvials arrossegats pel riu. Ara bé, en els sondatges estudiats en cap cas s'ha trobat cap tipus de sedimentació de tipus fluvial. Tampoc sembla possible el desenvolupament d'una morfologia fluvial en V, amb canyons d'aqueixes dimensions amb una conca de drenatge tan petita, ni tampoc l'acúmul dels dipòsits holocens sembla poder-se explicar per simples processos eustàtics o de subsidència. L'anàlisi geomorfològica general a la zona del Migjorn de Menorca, sembla més avalar la possibilitat d'actuació dels processos càrstics, fonamentalment aprofitant línies de debilitat del terreny (diàclasis, falles) i sobre les quals l'acció fluvial hauria tingut tan sols una funció de retoc. El mateix sembla deduir-se de les anàlisis dels SEV's fets a la zona (Fig. 7).

A l'observar el pendent que forma el basament –la fons del vall- s'adverteix que hi ha un contrapendent de –2,2%. Això podria ser interpretat de tal manera (Pardo *et al.*, 1997) que el basament no queda definit per una vall fluvial sinó per un conjunt de depressions d'origen càrstic que per enfonsaments successius han format un canyó aprofitant línies de debilitat. El rebliment posterior d'aquestes depressions, amb materials el·luvials, al·luvials, col·luvials, marins i orgànics, ha permès generar una morfologia continua o plana que ha soterrat l'antic perfil longitudinal del barranc que originalment es trobava quebrat.

De ser correcta la teoria esmentada, fonamentada en les característiques generals de la zona i en les dades aportades pels perfils elèctrics l'acumulació holocena trobada en aquest sondatge recolliria els dipòsits que s'haurien quedat dins d'aquest vas. La proòpia "dolina", en la seva configuració actual podria haver-se generat en un moment en que el nivell de la mar estiguera prop dels –15 m snm, ja que el nivell de la mar també marca la posició del freàtic i, per tant, l'efectivitat dels processos de dissolució càrstica, és a dir, entre els 18.000 i els 6.500 BP, quan la mar pujava per raons eustàtiques. El màxim flandrià es produiria entre els 8.000 i els 6.000 BP (Goy *et al.*, 1997, a Mallorca marquen el màxim al 7.000 BP) i durant aquest temps l'espai quedaria com un ambient marí. Llavors el paisatge seria semblant a com avui en dia són les cales. Posteriorment, una lleugera retirada de la mar permetria que l'espai es transformàs en un àmbit d'albufera o marjalenc.

En qualsevol dels casos, els sediments que s'anirien acumulant en aquest vas no tindrien un origen únic –marí, albuferenc, ... –sinó que al temps continuarien produint-se deposicions d'argiles producte de la descalcificació i petites aportacions de tipus al·luvial.

Conclusions

Els sediments que hi ha a Cala Galdana no són els típics d'una desembocadura fluvial: sembla que no hi ha sediments continentals enlloc i això és impensable en qualsevol tipus de riu mediterrani. En una mar com la Mediterrània, amb una dinàmica marina sense grans corrents ni marees, les cales funcionen com un estuari, amb un predomini dels processos marins sobre els continentals. L'absència de materials fluvials seria un argument per explicar que els rius que les han format no estan governats per la dinàmica fluvial exclusivament; més bé al contrari, cal buscar altres mecanismes que expliquin el seu funcionament. En el cas concret d'aquesta cala i del torrent que la genera destaca també l'absència de materials gruixuts (còdols, graves), la qual cosa es pot explicar pel tipus de material on s'encaixen; les calcoarenites deixen com a residu l'arena,

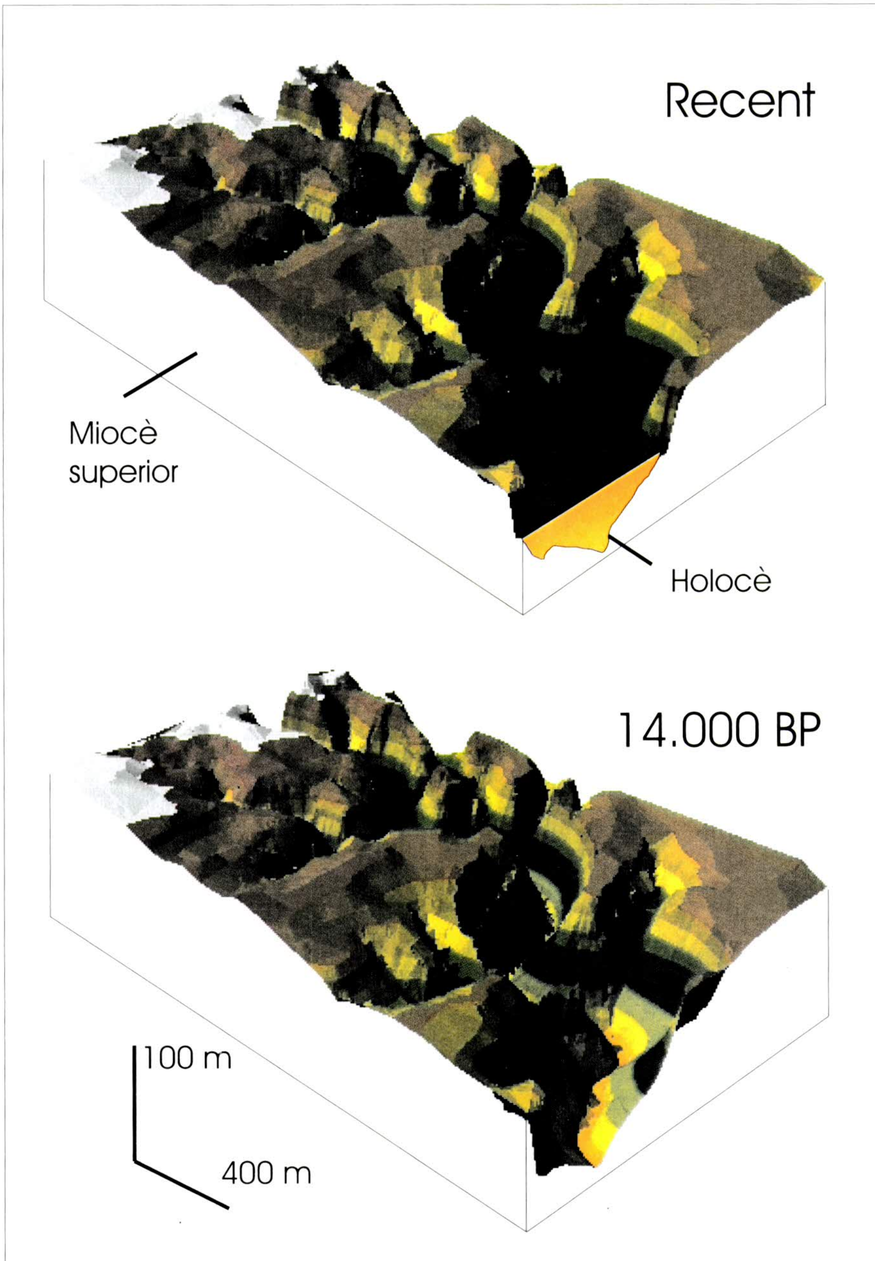


Fig. 6. Bloc diagrama representatiu de l'evolució i rebliment holocè de l'àrea de cala Galdana i barranc d'Algendar.

Fig. 6. Block diagram representing the Holocene evolution and infilling of the cala Galdana area and Algendar gully.

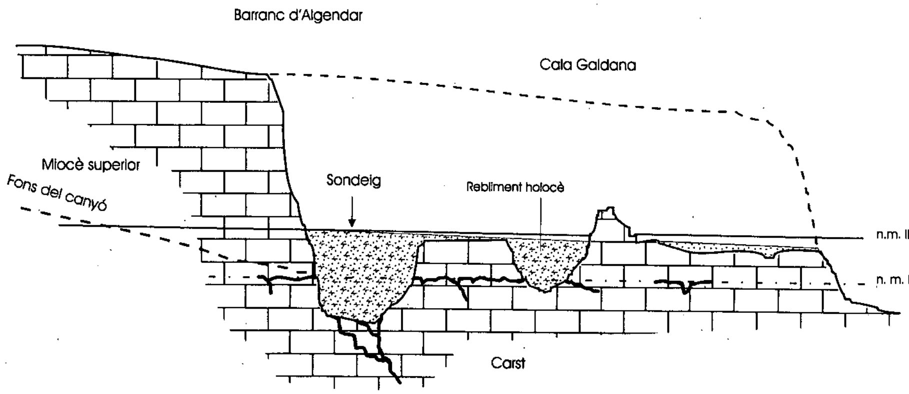


Fig. 7. Esquema interpretatiu del paper que pot jugar el carst en el desenvolupament del Barranc d'Algendar i del seu rebliment
Fig. 7. Interpretative sketch showing the potential effects of karst processes on the development of Barranc d'Algendar and his infilling.

que el mar s'emporta amb molta facilitat. Però també cal destacar la gran abundància de llims i argiles, observada a tota la conca, probable residu de la descalcificació pròpia dels processos càrstics.

La disposició dels nivells estudiats en el sondeig concorda perfectament amb altres estudis fets a la costa valenciana (Torreblanca, Puçol, etc.) (Segura *et al.*, 1995). Estaríem d'acord en la interpretació que es fa del sondeig com el típic d'una transgressió, amb la formació final d'una albufera datada en el 6170±70 –la data també concorda amb els estudis citats abans- però potser caldria matisar que entre els 15 i els 0 m hi ha oscil·lacions marí-albufera, que poden interpretar-se com a oscil·lacions del nivell marí o com a tancaments i obertures de la restinga.

Respecte a la columna analitzada, destacar la gran potència dels sediments holocens i l'absència dels materials del Pleistocè inferior, mitjà i del Pliocè. Els sediments analitzats indiquen que, després de l'alçament de la plataforma al final del Miocè, es va produir un encaixament que va arribar fins als 32 m, però no es va registrar sedimentació marina ni continental fins el Pleistocè superior. La possible explicació d'aquest fet té dues vessants, o bé es va produir i va ser posteriorment erosionada en les successives oscil·lacions del nivell de la mar, o bé no hi va ser mai. Dit d'una altra manera, aquesta zona s'hauria obert a la sedimentació marina durant el Pleistocè superior; abans podria estar ben bé terra endins i ben lluny de la mar. Si això fora així, Cala Galdana només seria una dolina més en el traçat del torrent d'Algendar, que s'hauria erosionat per acció marina durant la transgressió flandriana. A més, la possible morfologia còncava de la dolina podria explicar la gran potència de sediments holocens, només comparable a la d'altres zones que registren neotectònica o una forta subsidència (Pego, Puçol-Alboraia) (Segura *et al.*, 1995).

Les conclusions esmentades amb anterioritat i discutides en l'apartat de discussió semblen deixar clar que la utilització directa de les tècniques de l'estratigrafia seqüencial basades tan sols en factors com

l'oscil·lació del nivell de la mar i la producció sedimentària, sigui terrígena o carbonatada, a partir de les dades puntuals de sondatges, poden resultar peces mancades de realitat si no tenen en compte altres factors (especialment del context geomorfològic dins del qual es troben) com és el cas que ens ocupa, i especialment en zones carbonatades, tal com els processos geomorfològics lligats a la dissolució de les calcàries, és a dir el carst, que pot provocar esbiaxament importants en la dinàmica sedimentària lligada al modelat del relleu.

Agraïments

Al *Servicio Geológico de Obras Públicas del MOPU*, la cessió dels testimonis del sondatge per al seu estudi sedimentològic i al LSIG de la UIB la realització informàtica de part de la Fig. 6. Aquest treball s'emmarca dins del Projecte de la CICYT, CYTMAR, MAR95-1825.

Referències

Cuerda, J. 1975. *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Institut d'Estudis Baleàrics. Palma de Mallorca, 304 pp.

Dalrymple, R.W., Boyd, R. i Zaitlin, B.A. (Eds). 1994. Incised-valley systems: origin and sedimentary sequences. *SEPM, Special Publication*, 51: 1-391.

Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., i Boyd, R. 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62: 1130-1146.

Emery, D. i Myers, K. 1996. *Sequence Stratigraphy*. Blackwell Science Co. 304 pp.

Fornós, J.J. 1987. *Les plataformes carbonatades de les Balears*. Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona, 954 pp.

Goy, J.L.; Zazo, C. i Cuerda, J. 1997. Evolución de la cuencas margino-litorales de la costa de Mallorca (I. Baleares) durante el último y presente interglacial: nivel del mar Holoceno y clima. *Boletín Geológico y Minero*, 108(4/5): 455-463.

Mercadal, B., Villalta, J., Obrador, A. i Rossell, J. 1970. Nueva aportación al conocimiento del Cuaternario menorquín. *Acta Geológica Hispánica*, 5 (4): 89-93.

Obrador, A. 1998. *Un cop d'ull a la geologia menorquina*. In: Fornós, J.J. Ed. Aspectes geològics de les Balears. Universitat de les Illes Balears, 39-66.

Obrador, A., Pomar, L., Jurado, M., Rodríguez-Perea, A. i Fornós, J.J. 1983. *El Neógeno del Sector de Ciutadella*. In: Obrador, A., Pomar, L., Fornós, J.J. i Rodríguez-Perea, A. El Terciario de las Baleares (Mallorca – Menorca). Institut d'Estudis Baleàrics i Universitat de Palma de Mallorca. Palma de Mallorca.

Obrador, A., Pomar, L., Rodríguez-Perea, A. i Jurado, M.J. 1983. Unidades deposicionales del Neógeno menorquín. *Acta Geològica Hispànica*, 18 (2): 87-97.

Pardo, J.E., Rodríguez-Perea, A. Fornós, J.J., García, F. i Cervera, T. 1997. Caracterización de los fondos de las calas y los barrancos menorquines mediante sondeos eléctricos. *Actas XV Congreso de Geógrafos Españoles* (Santiago 15-19 septiembre), 1: 191-203.

Segura, F.S., Sanjaume, E. i Pardo, J.E. 1995. Evolución cuaternaria de las albuferas del sector septentrional del Golfo de Valencia. *El Cuaternario del País Valenciano*, 1995: 139-153.

Yll, E.I., Pérez-Obiol, R., Pantaleon-Cano, J. i Roure, J.M. 1997. Palynological evidence for climatic change and human activity during the Holocene on Minorca (Balearic Islands). *Quaternary Research*, 48: 339-347.